

# CPE 223 Digital circuit design

## Final Project Report: “IA Journey”

Section B

Mr. Rachasak Ragkamnerd 57070501075

Mr. Suttiwat Songboonkaew 57070501079

Instructor Mr. Surapont Toomnark & Mr. Pipat Supasirisun

---

ชุดคำสั่งที่ใช้ในโครงงานนี้และรายงานสามารถเข้าถึงได้ที่

 <https://github.com/itpcc/FPGA-IA-Journey-game/>

## วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างเกมส์ “IA Journey” ซึ่งเป็นเกมให้หลบแมวซึ่งเป็นศัตรูที่กำลังไล่ล่าอย่างสม่ำเสมอทุกๆ 5 วินาที และสามารถยิงปืนเพื่อหลบแมวออกได้ตามจังหวะที่กำหนด นับคะแนนทุกๆ 2.4 วินาที เพิ่ม 1 คะแนน โดยส่งข้อมูลการเคลื่อนที่และการยิงปืนผ่านปุ่มกดและแสดงผลบน VGA-mode color display

## อุปกรณ์

- โปรแกรม Xilinx ISE 14.7 software
- APEX Discovery III (Spartan 3 XC3S400-4TQ144C) FPGA board
- Push-button
- VGA port module

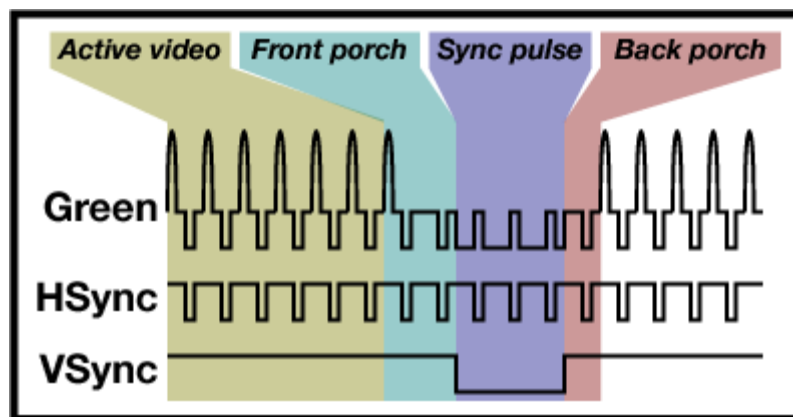
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## การแสดงผลภาพแบบ VGA

VGA คือมาตรฐานการแสดงผลภาพบนหน้าจอสีโดย IBM แรกเริ่มเพื่อใช้ในคอมพิวเตอร์ IBM PS/2 โดยการส่งสัญญาณที่สำคัญ 5 สัญญาณ (Hinner, 2007) ได้แก่:

- Vertical Sync เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อกำหนด Frame rate และกำหนดให้ Electron beam ในจอแบบ CRT เริ่มกวาดภาพที่ด้านบนจอ
- Horizontal Sync เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อกำหนดจังหวะให้ Electron beam ในจอแบบ CRT เริ่มกวาดภาพที่ด้านซ้ายของจอในแถวถัดไป
- สัญญาณสี R, G, B ในรูปแบบสัญญาณ Analog 0-0.7 โวลต์ ยิ่งโวลต์สูง สีนั้นยิ่งสว่าง

โดยทั่วไปการส่งสัญญาณภาพมักมีช่วงรอยต่อท้ายเฟรมปัจจุบัน หรือ “Front porch” และก่อนหน้าเฟรมถัดไป หรือ “Back porch” เพื่อป้องกันภาพเหลื่อมกันและทำให้แรงดันไฟฟ้ากลับมาเสถียรในกรณีจอภาพเก่า (Pemberton, 2014) และปกติในช่องสัญญาณสีจะรับ input ที่ 75  $\Omega$  หากต้องจ่ายสัญญาณไฟจากแหล่งกำเนิด 3.3 โวลต์ ต้องต่อตัวต้านทานขนาด 270  $\Omega$  อนุกรมด้วยเพื่อสร้างตัวแบ่งแรงดันไฟฟ้าให้ปลายทางได้แรงดันไฟฟ้าที่ไม่เกิน 0.7 โวลต์ (Nicolle, 2014)

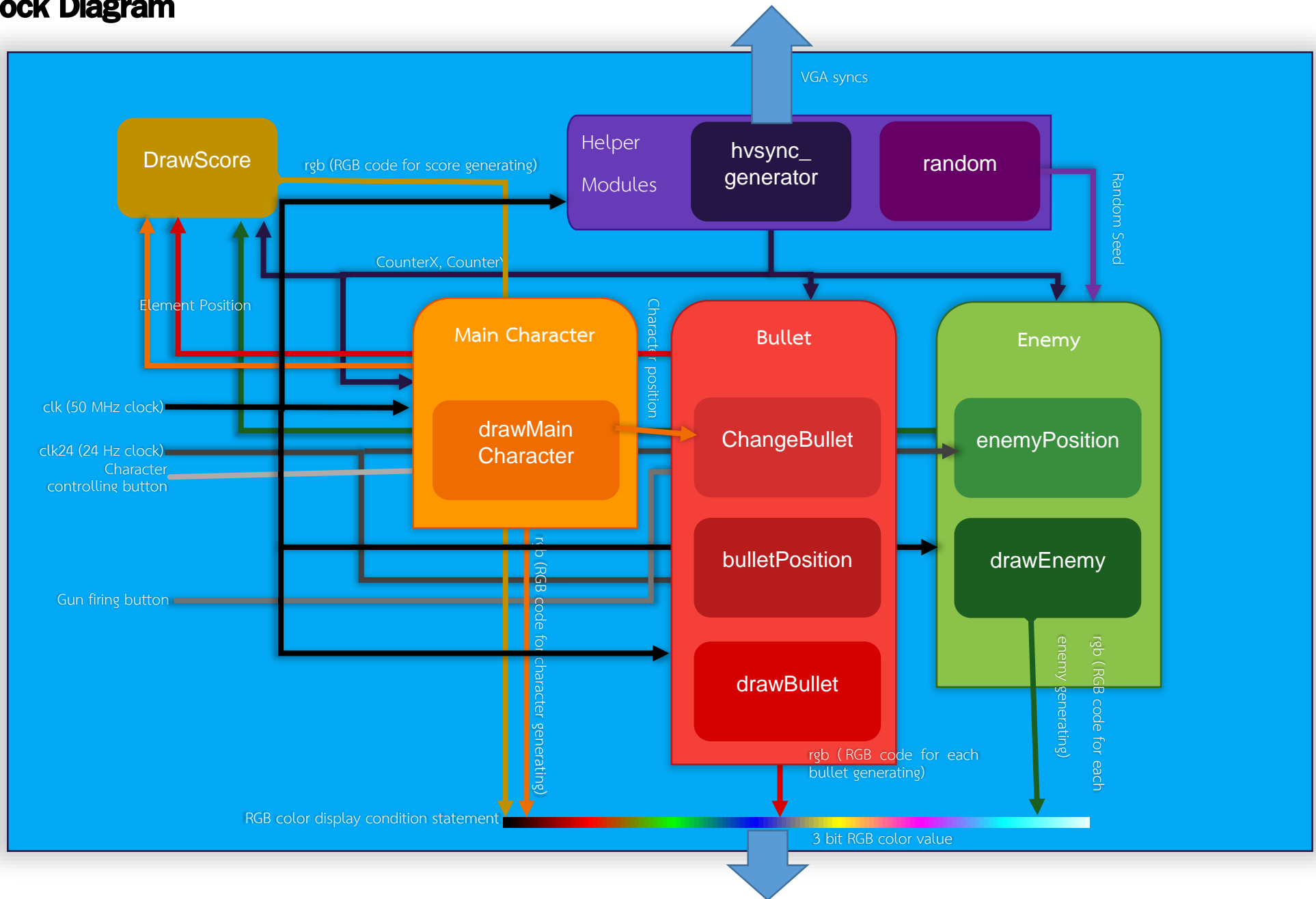


รูปที่ 1 แสดงตัวอย่าง Timing diagram ของสัญญาณภาพแบบ VGA

สำหรับขนาดภาพ VGA มาตรฐานอุตสาหกรรมมีค่าดังนี้ (Hinner, 2007)

- ขนาดภาพ 640x480 pixel 60 เฟรม/วินาที
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา 25.175 MHz
- ความถี่สัญญาณ Horizontal sync 31469 Hz
- ความถี่สัญญาณ Vertical sync 59.94 Hz

- จำนวน pixel จริงในแต่ละเส้นภาพ รวม 800 pixels
  - 8 pixels front porch
  - 96 pixels horizontal sync
  - 40 pixels back porch
  - 8 pixels ขอบภาพซ้าย
  - 640 pixels ภาพจริง
  - 8 pixels ขอบภาพขวา
- จำนวนเส้นภาพแนวตั้งจริง รวม 525 เส้น
  - 2 เส้น front porch
  - 2 เส้น vertical sync
  - 25 เส้น back porch
  - 8 เส้น ขอบภาพบน
  - 480 เส้น ภาพจริง
  - 8 เส้น ขอบภาพล่าง

**Block Diagram**

# อธิบายโมดูล

## ภาพรวม

เราสามารถแบ่งองค์ประกอบวงจรได้ 4 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนตัวละคร ทำหน้าที่ประมวลผลการเคลื่อนไหวของตัวละครหลัก
2. ส่วนลูกกระสุน ทำหน้าที่ประมวลผลการเลือกลูกกระสุนที่จะใช้ยิงและการเคลื่อนที่ของลูกกระสุนแต่ละลูก
3. ส่วนศัตรู ทำหน้าที่กำหนดการเกิดใหม่ ทิศทางและการเคลื่อนไหวของศัตรูแต่ละตัว
4. ส่วนกลาง ทำหน้าที่สร้างสัญญาณนาฬิกากลาง (สัญญาณกำหนดเฟรมภาพ, สัญญาณ sync, ตัวเลขสุ่ม)  
พิกัดภาพปัจจุบัน ประมวลผลการชน การนับคะแนน และการแสดงผลสู่จอภาพ

## ส่วนตัวละคร

### drawMainCharacter

ทำหน้าที่วาดภาพตัวละครจากตำแหน่งที่กำหนด โดยการหาส่วนต่างระหว่างตำแหน่งที่กำลังวาดปัจจุบันกับตำแหน่งของตัวละครแล้วนำไปเปรียบเทียบในชุดเงื่อนไขว่าในพิกัดนั้นจะต้องแสดงสีใด

การสร้างภาพ ณ พิกัดใดๆ ขององค์ประกอบอื่น (drawEnemy – วาดศัตรู, drawBullet – วาดลูกกระสุน, drawScore – วาดคะแนน) ล้วนใช้หลักการเดียวกัน

การสร้างชุดเงื่อนไขสร้างจากโปรแกรมแปลงรูปภาพเป็นชุดคำสั่งที่ทำขึ้นเอง รายละเอียดอยู่ในปัญหาและวิธีการแก้ไข

## ส่วนลูกกระสุน

### bulletPosition

ทำหน้าที่ระบุทิศทางและตำแหน่งปัจจุบันของลูกกระสุน

### ChangeBullet

ทำหน้าที่ตรวจสอบว่าลูกกระสุนใดว่าง และเรียกใช้ฯ เมื่อทำได้

### drawBullet

ทำหน้าที่วาดภาพกระสุนของแต่ละลูกกระสุน

## ส่วนศัตรู

### enemyPosition

ทำหน้าที่สุ่มการเกิดของศัตรูและกำหนดทิศทางการเคลื่อนไหวและการกระทบซึ่งของศัตรูกับกำแพง

### drawEnemy

ทำหน้าที่วาดภาพศัตรูบนจอ

## ส่วนหลัก

### random

ทำหน้าที่สร้างเลข (จำลอง) สุ่มโดยอาศัย Linear Feedback Shift Register บวกกับส่วนหนึ่งของชุดตัวเลขสุ่ม (salt) และจำนวนครั้งของสัญญาณนาฬิกา ณ ขณะนั้น

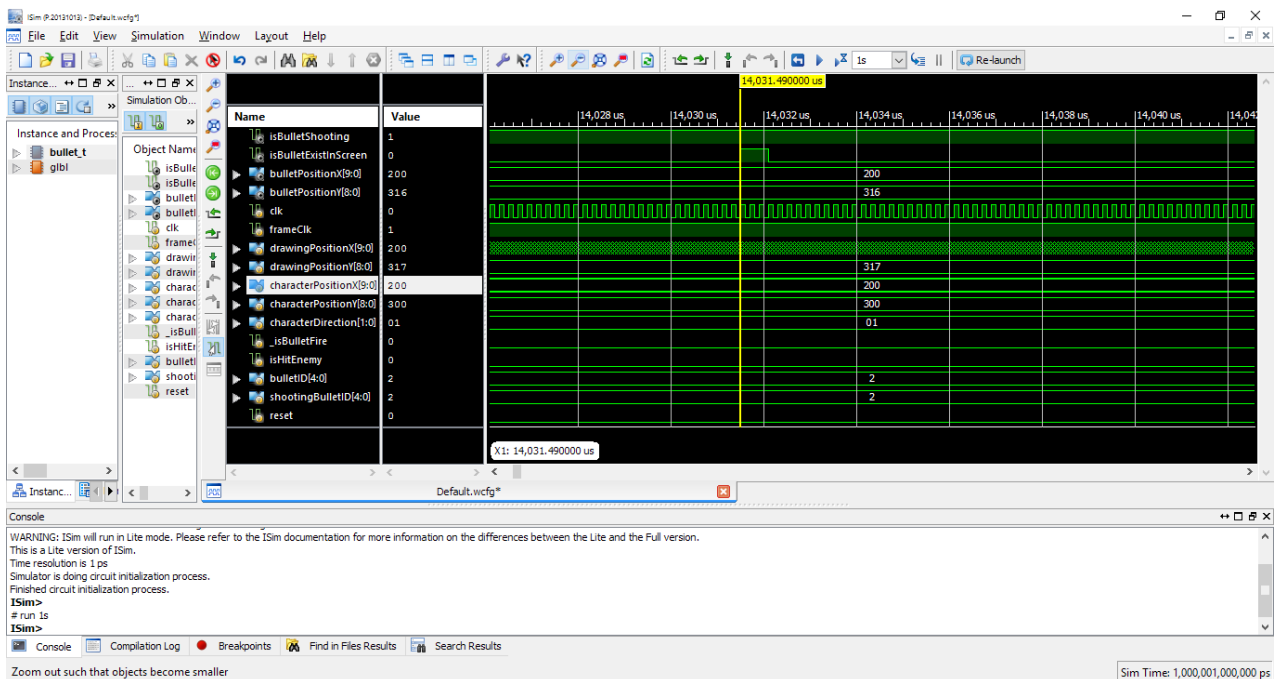
### hvsync\_generator

ทำหน้าที่สร้างสัญญาณ sync ของ VGA และตัวเลขระบุพิกัดการวาดหน้าจอ ณ ขณะนั้น

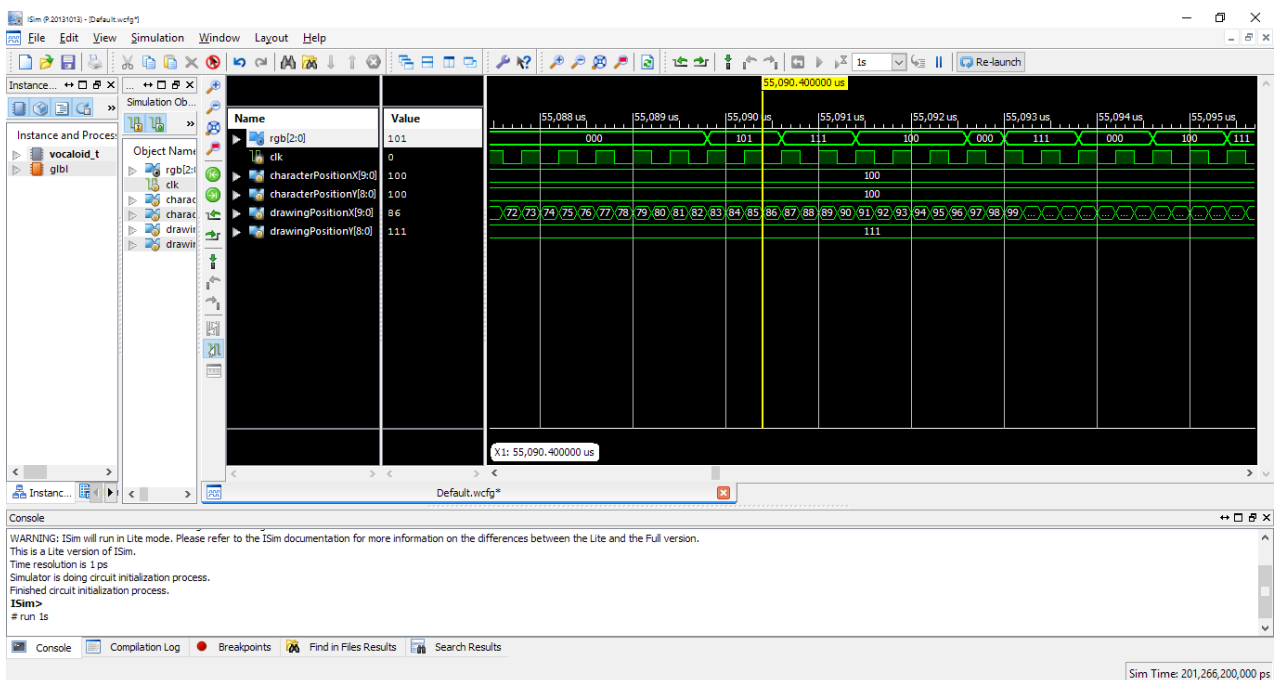
### DrawScore

คำนวณการกระทบกันของตัวละครกับศัตรู และศัตรูกับกระสุน เพื่อนับคะแนนและแสดงผลฯ

# ผลที่ได้

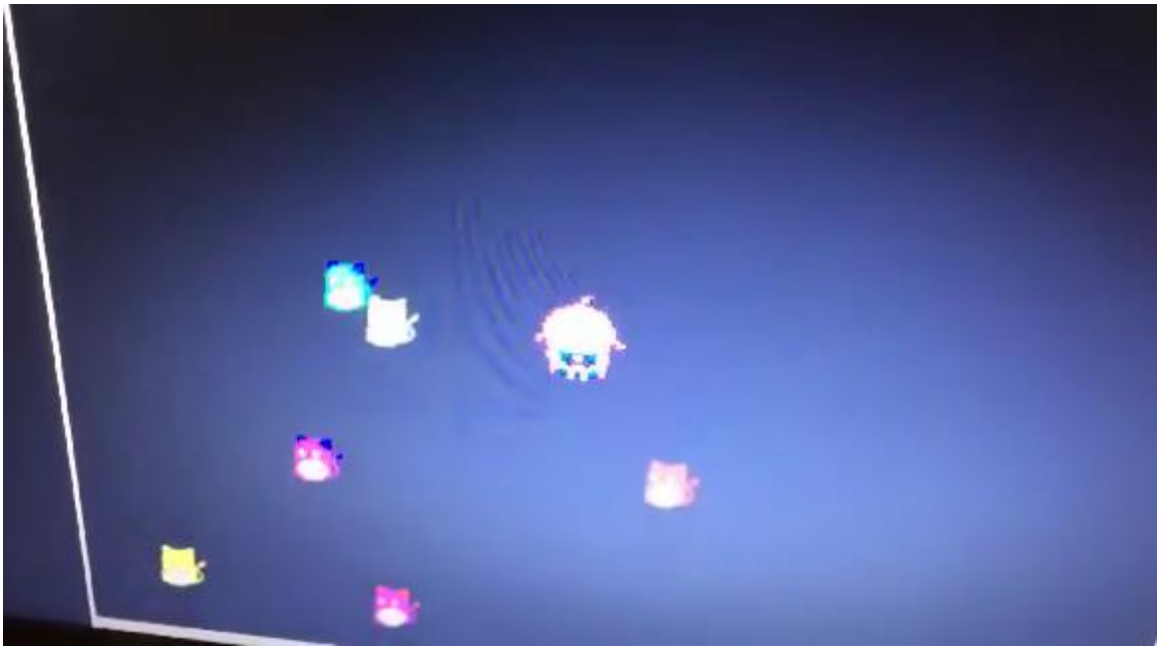


รูปที่ 2 ตัวอย่าง Timing Diagram ของ bulletPosition ในจังหวะที่พิกัดวาดรูปตรงกับตำแหน่งปัจจุบันของกระสุน



รูปที่ 3 แสดง Timing diagram ของ drawMainCharacter ขณะไปถึงจุดที่ตัวละครตั้งอยู่





รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างหน้าจอขณะเล่น



รูปที่ 5 แสดงคะแนนหลังจากจบเกม

## สรุปผล

เราสามารถประยุกต์ใช้ FPGA เพื่อสร้างเกมดังกล่าวในวัตถุประสงค์ได้โดยการสร้างโมดูลเพื่อควบคุมการแสดงผล และรับ input และประมวลผล

## ปัญหาและวิธีการแก้ไข

**ปัญหา** แต่เดิมตั้งใจให้แต่ละส่วนกำหนดพิกัดลงบนตัวแปรแผนที่กลางแล้วจึงนำข้อมูลนั้นไปประมวลผล แต่บอร์ดมีหน่วยความจำชั่วคราวน้อย และ ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้หน่วยความจำเสริม

**วิธีการแก้ปัญหา** ให้แต่ละส่วนวาดภาพออกมาโดยตรง (Output เป็นรหัสสี 3 bits RGB) แล้วประมวลผลการชนและการนับคะแนน ณ ขณะนั้นโดยทันที แม้จะทำให้มีชุดคำสั่งไม่พึงประสงค์ขึ้นมาบ้าง แต่สามารถบรรลุเป้าหมายได้ในที่สุด

**ปัญหา** แม้จะสามารถใส่ชุดคำสั่งได้ทั้งหมด แต่การประมวลผลเป็นชุดคำสั่งสำหรับ FPGA เริ่มช้าลงเรื่อย ๆ

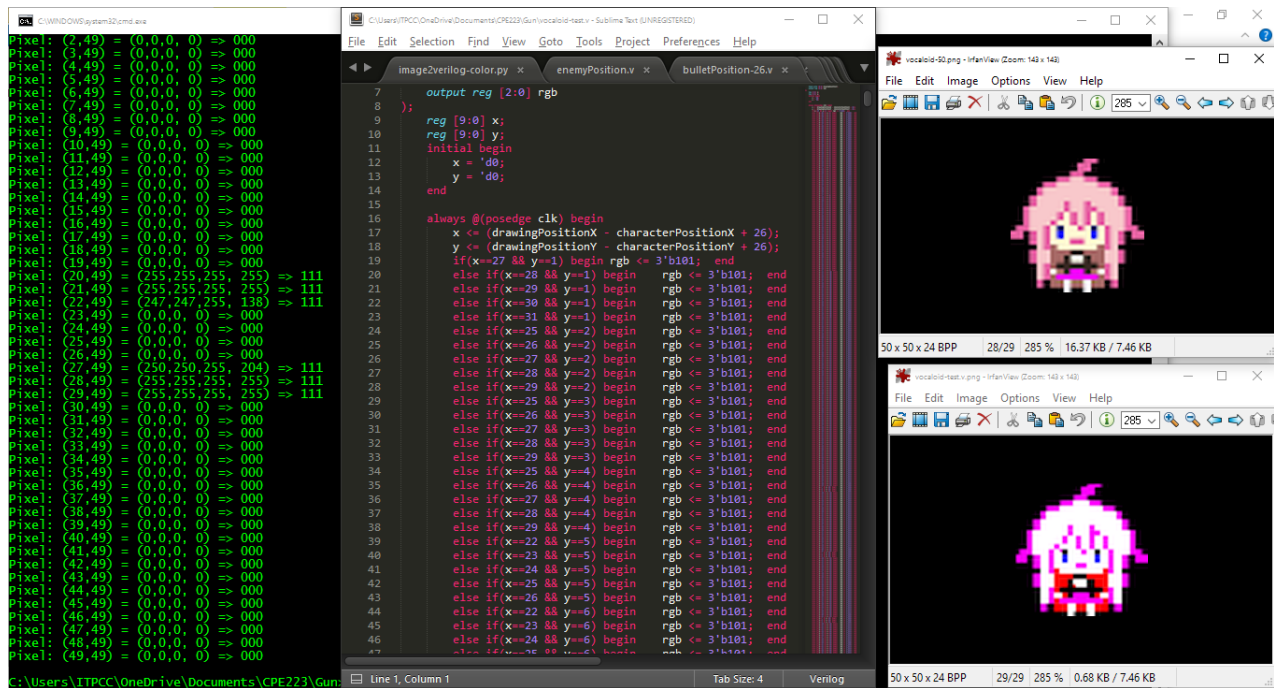
**วิธีการแก้ปัญหา** พยายามพัฒนา ลดชุดคำสั่ง หรือยุบรวมคำสั่งที่ใช้ร่วมกันได้ เพื่อลดคำสั่งให้ลดลง

**ปัญหา** FPGA ไม่มีหน่วยความจำที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายในการบรรจุภาพต้นแบบของตัวละคร ลูกกระสุน ศัตรู และคะแนน

**การแก้ปัญหา** เปลี่ยนเป็นการสร้างชุดเงื่อนไขเพื่อดูพิกัดที่จะต้องวาดภาพ แล้วส่งรหัสสีผลลัพธ์โดยตรง

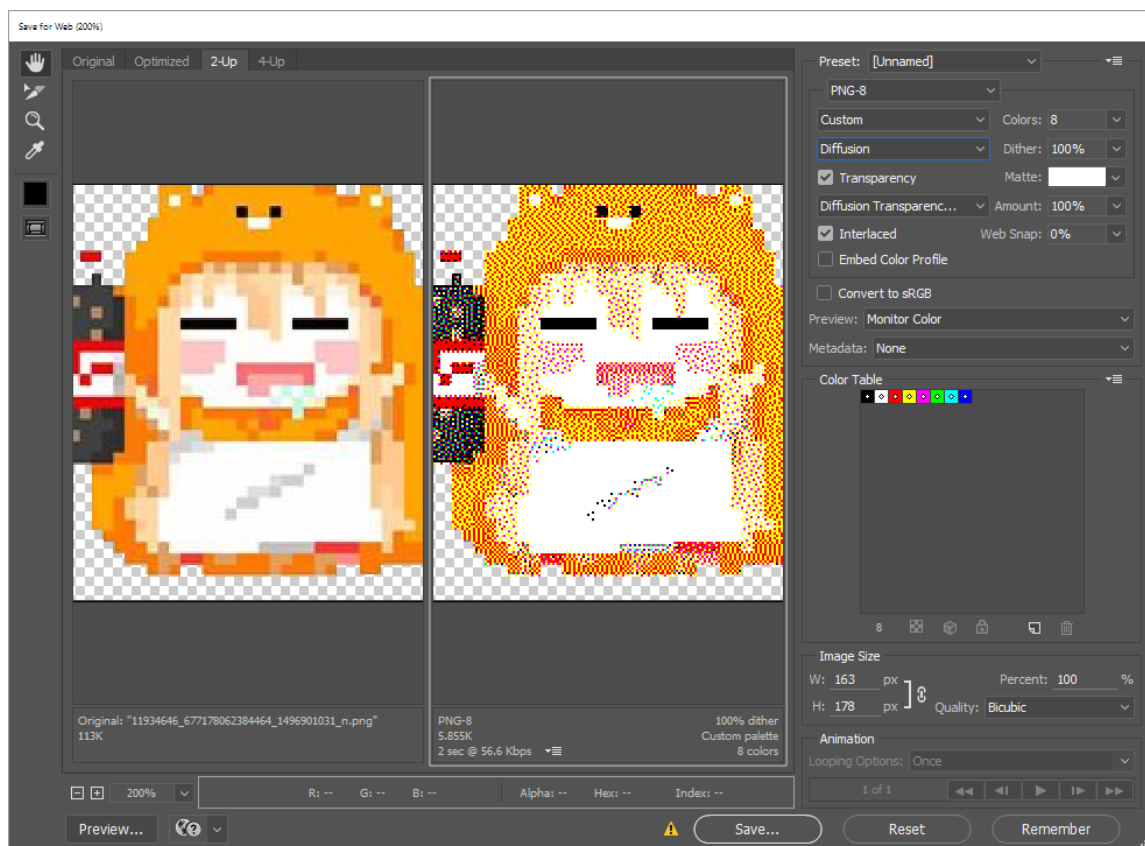
ทั้งนี้ เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการแปลงรูปภาพ จึงสร้างชุดคำสั่งภาษา Python ในการแปลงรูปภาพรูปแบบมาตรฐาน (ในที่นี้ใช้ภาพแบบ PNG เนื่องจากการบีบอัดไม่เสียคุณภาพและสามารถบันทึกจุดโปร่งใสได้) ให้เป็นโมดูลในภาษา Verilog ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ทันที

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการประมวลผลภาพที่สีต่างจากแม่สีหลักพอสมควร เช่น สีส้ม สีม่วง สีน้ำตาล อาจจะได้ภาพผลลัพธ์ไม่ตรงกับความต้องการ (ดูรูปที่ 6 ประกอบ) ในบางครั้งจึงนำภาพไปทำ Pattern Dithering ใน Adobe Photoshop หรือโปรแกรมแก้ไขรูปภาพอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง ซึ่งเป็นการนำสีที่สามารถใช้ได้ในระบบ มาวางเป็นรูปแบบเฉพาะเพื่อให้ได้สีที่ใกล้เคียงกับสีที่ควรจะเป็น (ดูรูปที่ 7 ประกอบ)



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการใช้ชุดคำสั่งแปลงภาพเป็นโมดูลในภาษา Verilog

(ซ้าย -- หน้าจอแสดงสถานะการแปลงภาพ, กลาง -- โมดูลผลลัพธ์, ขวาบน -- ภาพต้นฉบับ, ขวาล่าง -- ภาพตัวอย่างผลลัพธ์ที่ควรไดเมื่อนำไปใช้งานจริง) [© 2016 1st PLACE Co., Ltd.]



รูปที่ 7 แสดงการใช้ Pattern Dithering ในการจำลองสีอื่นๆ จากสีที่กำหนดให้ (ในที่นี้สร้างรูปผลลัพธ์ (รูปขวา) จาก 3 bits RGB) [©2015 サンカクヘッド/集英社]



## บรรณานุกรม

- Alan Pemberton. 2014.** Standard component video levels. *World Analogue Television Standards and Waveforms*. [ออนไลน์] Pembers' Ponderings, 28 December 2014.  
<http://www.pembers.freemove.co.uk/World-TV-Standards/index.html#Component>.
- APEX instrument CO., LTD.** FPGA Discovery-III XC2S300 Board Manual V1.0. *APEX instrument CO., LTD.* [ออนไลน์] APEX instrument CO., LTD.[สืบค้นเมื่อ 28 March 2016.]  
[https://lookaside.fbsbx.com/file/FPGA%20Discovery%20-%20III%20XC3S200%20%20Board\\_Manual\\_ENG\\_V1-2.pdf?token=AWwiSK\\_DmPPaNreAbVRz8jzwp0W5sr-d0olMbuOmLgA3d-Ubauzq4Qv85alfsiMmTHWXSbDlcZ-KqlWnLimJ2w5AB1nFrphvcRV2JgAuUsNPceULsnNUvGfN26qbtG-otAI](https://lookaside.fbsbx.com/file/FPGA%20Discovery%20-%20III%20XC3S200%20%20Board_Manual_ENG_V1-2.pdf?token=AWwiSK_DmPPaNreAbVRz8jzwp0W5sr-d0olMbuOmLgA3d-Ubauzq4Qv85alfsiMmTHWXSbDlcZ-KqlWnLimJ2w5AB1nFrphvcRV2JgAuUsNPceULsnNUvGfN26qbtG-otAI).
- Chris Fletcher. 2008.** Verilog: always @ Blocks. *Department of Electron Devices, Budapest University of Technology and Economics*. [ออนไลน์] UC Berkeley, 5 September 2008. [สืบค้นเมื่อ 26 March 2016.] <http://www.eet.bme.hu/~nagyg/mikroelektronika/Always.pdf>.
- Eduardo Sanchez. 2007.** A VGA display controller. *The Logic Systems Laboratory (LSL)*. [ออนไลน์] Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 25 March 2007.  
[http://lslwww.epfl.ch/pages/teaching/cours\\_lsl/ca\\_es/VGA.pdf](http://lslwww.epfl.ch/pages/teaching/cours_lsl/ca_es/VGA.pdf).
- Jean P. Nicolle. 2014.** Pong Game. *FPGA4Fun*. [ออนไลน์] 12 April 2014.  
<http://www.fpga4fun.com/PongGame.html>.
- Martin Hinner. 2007.** "VGA industry standard" 640x480 pixel mode. *VGA (Video Graphics Array) Interface and video signal documents*. [ออนไลน์] January 2007.  
[http://martin.hinner.info/vga/640x480\\_60.html](http://martin.hinner.info/vga/640x480_60.html).
- . 2007. VGA Signals. *VGA (Video Graphics Array) Interface and video signal documents*. [ออนไลน์] January 2007. <http://martin.hinner.info/vga/vga.html>.
- ดร. ทรงยศ นาคอริยกุล. 2553.** การวิเคราะห์และออกแบบวงจรดิจิทัล. กรุงเทพมหานคร : บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตเซอร์วิส จำกัด, 2553.